

54024-026

Yamanaka, et al.

January 11, 2001

日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
る事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日

Date of Application:

2000年 1月13日

願番号

Application Number:

特願2000-004941

願人

Applicant(s):

ミノルタ株式会社

Jc759 U.S. PTO
09/757654

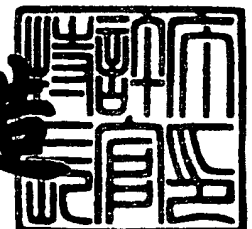
01/11/01

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2000年11月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



【書類名】 特許願

【整理番号】 P26-0155

【提出日】 平成12年 1月13日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04N 9/77

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

【氏名】 山中 睦裕

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

【氏名】 墨友 博則

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

【氏名】 中野 雄介

【特許出願人】

【識別番号】 000006079

【氏名又は名称】 ミノルタ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100089233

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉田 茂明

【選任した代理人】

【識別番号】 100088672

【弁理士】

【氏名又は名称】 吉竹 英俊

・【選任した代理人】

【識別番号】 100088845

【弁理士】

【氏名又は名称】 有田 貴弘

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012852

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9805690

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 デジタル撮像装置および画像復元方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 デジタル撮像装置であって、
複数の画像を連続的に取得する撮像手段と、

前記複数の画像に含まれる対象画像について、前記対象画像中の被写体像の軌跡を前記複数の画像から求めることにより、前記撮像手段のぶれまたは被写体自体の動きに起因した前記対象画像の劣化特性を示す少なくとも 1 つの劣化関数を求める劣化関数算出手段と、

前記少なくとも 1 つの劣化関数を用いて前記対象画像を復元する復元手段と、
を備えることを特徴とするデジタル撮像装置。

【請求項 2】 画像の劣化を復元する画像復元方法であって、

撮像手段により連続的に取得された複数の画像に含まれる対象画像について、
前記対象画像中の被写体像の軌跡を前記複数の画像から求めることにより、前記撮像手段のぶれまたは被写体自体の動きに起因した前記対象画像の劣化特性を示す少なくとも 1 つの劣化関数を求める工程と、

前記少なくとも 1 つの劣化関数を用いて前記対象画像を復元する工程と、
を含むことを特徴とする画像復元方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、撮像時のぶれなどによって劣化した画像の復元を可能とする画像処理技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

デジタルカメラなどの撮像装置においては、撮像時のぶれを補正する技術が存在する。このような技術としては、加速度センサなどのぶれセンサを用いて得られた画像を補正する技術や、1 枚の画像からぶれを推定する技術などが存在する。

【 0 0 0 3 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来技術のうち、前者の技術においては特別なぶれセンサを必要とするなどの問題があり、後者の技術においては「ぶれ」の推定精度が低いなどの問題が存在する。

【 0 0 0 4 】

そこで、本発明は前記問題点に鑑み、特別なぶれセンサを必要とすることなく、撮像時のぶれなどによって劣化した画像を高精度に復元することが可能な画像処理技術を提供することを目的とする。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項 1 に記載の発明は、デジタル撮像装置であって、複数の画像を連続的に取得する撮像手段と、前記複数の画像に含まれる対象画像について、前記対象画像中の被写体像の軌跡を前記複数の画像から求めることにより、前記撮像手段のぶれまたは被写体自体の動きに起因した前記対象画像の劣化特性を示す少なくとも 1 つの劣化関数を求める劣化関数算出手段と、前記少なくとも 1 つの劣化関数を用いて前記対象画像を復元する復元手段と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 0 6 】

請求項 2 に記載の発明は、画像の劣化を復元する画像復元方法であって、撮像手段により連続的に取得された複数の画像に含まれる対象画像について、前記対象画像中の被写体像の軌跡を前記複数の画像から求めることにより、前記撮像手段のぶれまたは被写体自体の動きに起因した前記対象画像の劣化特性を示す少なくとも 1 つの劣化関数を求める工程と、前記少なくとも 1 つの劣化関数を用いて前記対象画像を復元する工程と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

【発明の実施の形態】

<構成概要>

図 1 ないし図 3 は、この発明の一の実施の形態に係るデジタルカメラ 1 の外観

を示す図であり、図 1 はデジタルカメラ 1 の正面図、図 2 は背面図、図 3 は側面図である。なお、図 1 および図 2 ではメモリカード 4 0 が装着される様子を理解できるように図示しており、図 3 ではメモリカードを図示していない。

【0008】

図 1 ないし図 3 に示すように、デジタルカメラ 1 の正面には、被写体を撮像するためのレンズユニット 3 1、被写体に向けてフラッシュ光を発するフラッシュ 8 が設けられ、背面には、撮像された画像やライブビュー画像を表示するための画素表示型の液晶ディスプレイを有するモニタ 2 1、撮影モードと再生モードとの間で動作モードを切り替える切替スイッチ 6 1、および、表示画像を変更したり各種設定条件を変更したりするための 4 ウェイキー 6 2 が配置される。

【0009】

また、上部には撮影範囲を見定めるための光学ファインダ 7 が設けられ、上面には押込操作されることにより被写体の撮影が行われるシャッターボタン（レリーズボタン） 5 が配置される。さらに、図 3 に示すように、デジタルカメラ 1 の側面にはメモリカード 4 0（図 1 参照）を装着するカードスロット 4 1 が設けられる。

【0010】

図 4 は、デジタルカメラ 1 のレンズユニット 3 1 に関する内部構造を示す概略断面図である。

【0011】

図 4 に示すように、デジタルカメラ 1 の正面から内部へ向けてレンズユニット 3 1 と撮像部 3 2 とが順に配置され、これらの構成によりファインダ 7（図 1）を介して捉えられた被写体の画像信号が取得される。レンズユニット 3 1 は各種レンズと光量制限を行う絞り 3 1 1 とから構成され、撮像部 3 2 は、レンズユニット 3 1 により被写体の像が形成される撮像センサ（受光素子配列） 3 2 1、および、撮像センサ 3 2 1 の光軸前面に配置されてモアレの低減を行う光学ローパスフィルタ 3 2 2 から構成される。

【0012】

撮像センサ 3 2 1 は、光軸に対して垂直な平面（撮像面）内に複数の画素を有

する全画素読み出しタイプのCCDエリアセンサによって構成される。この撮像センサ321の撮像面側にはR（赤）、G（緑）、B（青）の原色透過フィルタが画素単位で市松状に貼られており、各画素はレンズユニット31を介して入射する光の色成分ごとの刺激値を取得する。

【0013】

また、図5に示すように、デジタルカメラ1は、CPU11、RAM12、ROM13をさらに備えている。ROM13内には、ソフトウェアプログラム（以下、単に「プログラム」とも称する）が記憶されており、このプログラムがCPU11において実行されることにより後述の劣化関数算出動作や復元動作などの各動作が達成される。さらに、このデジタルカメラ1には、撮像部32により取得された画像データを一時的に格納しておく画像メモリ14が備えられている。

【0014】

次に、デジタルカメラ1の機能的構成について説明する。図6は、デジタルカメラ1の機能的構成を示すブロック図である。

【0015】

撮像部32においてアナログ信号として得られる画像信号は、ノイズ成分の除去や感度補正などを行うとともにA/D（アナログ/デジタル）変換されてデジタル信号として出力される。このようにして、被写体に関する撮像画像がデジタル画像信号（以下、「画像データ」あるいは単に「画像」という。）として取得される。

【0016】

この撮像部32は、後述の復元処理の対象となる画像（対象画像）を含む複数の画像を連続的に取得する。以下では、1枚の対象画像に加えて、対象画像の前後に1枚ずつの画像、すなわち合計3枚の画像を連続的に取得する場合について説明する。

【0017】

また、デジタルカメラ1は、図6に示すように、この撮像部32の他、劣化関数算出部110および復元部120をも備えている。これらの劣化関数算出部110および復元部120は、ROM13内に記録されたプログラムがCPU11

などにおいて実行されることにより機能的に実現されるものである。

【 0 0 1 8 】

劣化関数算出部 1 1 0 は、撮像部 3 2 において連続的に取得された複数の画像に含まれる対象画像について、デジタルカメラ 1 の撮像時のぶれによる対象画像中の被写体像の軌跡を複数の画像から求めることにより、ぶれに起因した対象画像の劣化特性を示す少なくとも 1 つの劣化関数を求める。

【 0 0 1 9 】

そして、復元部 1 2 0 は、上記の劣化関数算出部 1 1 0 で求められた少なくとも 1 つの劣化関数を用いて対象画像を復元する。

【 0 0 2 0 】

これらの劣化関数算出部 1 1 0 および復元部 1 2 0 のさらに具体的な動作については後述する。

【 0 0 2 1 】

< 本発明の原理について >

つぎに、図 7 ないし図 1 0 を参照しながら、この発明の原理について説明する。図 7 は、所定の被写体 J に関して連続的に取得した複数（3 つ）の画像 S 1，S 2，S 3 を表している。ここでは、このうち画像 S 2 について復元処理を行う場合、言い換えれば復元処理の対象画像を画像 S 2 とする場合について説明する。

【 0 0 2 2 】

図 7 および図 8 においては、これらの 3 つの画像 S 1，S 2，S 3 において、デジタルカメラ 1 の撮影時のぶれに起因して、実空間における被写体 J を撮像した像（被写体像）I が各画像 S 1，S 2，S 3 中において互いに異なる座標位置に捉えられている様子が示されている。図 7 においては、被写体像 I の位置を合わせることで各画像 S 1，S 2，S 3 がずれた位置に表示されており、図 8 においては、3 つの画像 S 1，S 2，S 3 の枠位置（図示せず）を合わせることで被写体像 I の位置がずれた位置に存在するように表示されている。また、図 8 は、各画像 S 1，S 2，S 3 において、「ぶれ」に起因して被写体像 I が軌跡 L 1 を描く様子を示している。なお、図 8 においては、被写体像 I が移動する

様子が示されており、各画像 S_1 , S_2 , S_3 の対応部分を被写体像 I_1 , I_2 , I_3 として示している。

【0023】

さらに、図9は、各画像 S_1 , S_2 , S_3 における各被写体像 I の代表点 P_1 , P_2 , P_3 およびその近傍の拡大図である。各代表点 P_1 , P_2 , P_3 は各画像 S_1 , S_2 , S_3 において被写体上の同一位置を表す対応点である。

【0024】

この場合、デジタルカメラ1の撮影時のぶれは、図9に示すように、破線 L_1 に沿って矢印 AR_1 の向きに生じている。言い換えれば、デジタルカメラ1の撮像時のぶれによる被写体像の軌跡が破線 L_1 によって示されている。このような被写体像の軌跡は代表点 P_1 , P_2 , P_3 を通るような適宜の補間（直線補間あるいはスプライン補間など）を用いて算出することができる。

【0025】

ここにおいて、撮像画像のぶれは、露光時間中に撮像センサ321に対して被写体像が移動することによって生じ、ぶれによる画像劣化は被写体上の一点からの光線が撮像センサ321上の一点に集まることなく、被写体像の移動軌跡線上に分布することにより生じる。このことは、言い換えれば、対象画像の所定位置における画素においては、被写体像の移動軌跡線上の複数の位置からの光を含むことをも意味する。すなわち、対象画像 S_2 の位置 P_2 における画素の値は、露光時間 Δt にわたって、位置 P_2 近傍において被写体像の軌跡 L_1 に沿った領域（図9の斜線領域） R_2 からの光が積算されて得られるものとなる。

【0026】

したがって、このようなぶれによる対象画像の画像劣化に関しては、劣化特性を示す劣化関数をその点像分布に基づく2次元フィルタによって表現することができる。ここではスプライン補間を用いて対象画像 S_2 中の被写体像の軌跡 L_1 を、所定サイズ（たとえば 5×5 ）の2次元フィルタとして表現する。

【0027】

図10は、このような2次元フィルタの一例を示すものである。対象画像 S_2 の所定位置の画素は、ぶれなどに起因する画像劣化が存在しない理想的な状態で

の撮像画像（以下、「理想画像」とも称する）に対して、このような2次元フィルタで表現される劣化関数を作用させて得られるものであると理解される。次の数1は、このことを表現する式である。

【0028】

【数1】

$$q(i, j) = \sum_{k, l} \{w(k, l) \cdot p(i+k, j+l)\} \\ \left(\begin{array}{l} -2 \leq k \leq +2 \\ -2 \leq l \leq +2 \end{array} \right)$$

【0029】

ここで、 $q(i, j)$ は対象画像S2の座標位置 (i, j) の画素の画素値を表し、 $p(i+k, j+l)$ は、理想画像の座標位置 $(i+k, j+l)$ の画素の画素値を表す。また、 $w(k, l)$ は、2次元フィルタにおける各重み付け係数を表す。図10の2次元フィルタにおいては、軌跡L1に沿う5つの位置に「 $1/5$ 」の値が記されており、これらの5つの位置に対応する画素値 p がそれぞれが $1/5$ 倍されて加算された値が画素値 q として得られることになる。

【0030】

この数1に示されるように、対象画像S2の所定の座標位置 (i, j) における画素の値は、理想画像における座標位置 (i, j) の近傍位置の画素の値を所定の重み付け係数で重ね合わせたものとして表され、その重み付け係数としての2次元フィルタは対象画像S2中の被写体像の軌跡を表現している。

【0031】

これは、対象画像の当該座標位置 (i, j) の画素値は、露光時間 Δt 内に撮像センサ321（CCDエリアセンサ）の所定の座標位置 (i, j) において画素に蓄積される光量として得られ、その光量は、被写体の動きに沿った被写体の複数の位置からの光を合算した値として得られることに対応する。すなわち、対象画像S2は、「理想画像」に対して上記の2次元フィルタで表現される劣化関数が作用して劣化した画像であると考えられる。

【 0 0 3 2 】

また、上記の劣化関数は、所定の座標位置（ i ， j ）におけるものであったが、最も簡易には、このような劣化が全ての位置に関して同様に生じているものとして、全ての位置において同一の２次元フィルタを劣化関数とみなすことが可能である。さらには、上記の２次元フィルタを画像上の全ての座標位置に応じてそれぞれ求めることによって、より詳細に劣化を表現してもよい。このようにして、撮像手段のぶれに起因した対象画像の劣化特性を示す少なくとも１つの劣化関数を求めることができる。

【 0 0 3 3 】

そして、このような劣化関数が各画素毎に求められれば、この劣化関数を用いて復元処理を行うことが可能である。この復元処理においては、たとえば、（１）境界条件を仮定して復元関数を求める方法、（２）特定の周波数成分を復元する方法、（３）反復法を用いて仮定画像を更新する方法などの各手法を用いることができる。これらについては、後述する。

【 0 0 3 4 】

<動作>

つぎに、撮像部 3 2、劣化関数算出部 1 1 0、および復元部 1 2 0 などにおけるさらに具体的な動作について、図 1 1 を参照しながら説明する。

【 0 0 3 5 】

図 1 1 は、処理の流れを示すフローチャートである。図 1 1 に示すように、ステップ S P 1 0 において撮像部 3 2 によって複数の画像 S 1，S 2，S 3 が連続的に取得され、ステップ S P 2 0 において劣化関数算出部 1 1 0 によって対象画像 S 2 中の被写体像の軌跡を複数の画像 S 1，S 2，S 3 から求めることによりデジタルカメラ 1 のぶれに起因した対象画像 S 2 の劣化特性を示す少なくとも１つの劣化関数が求められる。また、ステップ S P 3 0 においては、ステップ S P 2 0 で求めた少なくとも１つの劣化関数を用いて、復元部 1 2 0 によって対象画像 S 2 が復元される。以下では、各ステップ S P 1 0 ～ S P 3 0 における処理についてさらに具体的に説明する。

【 0 0 3 6 】

まず、ステップSP10について説明する。ここでは、露光開始（ステップSP11）から露光終了（ステップSP12）までの所定の微少時間 Δt （たとえば1/60秒）にわたって露光処理が行われ、撮像センサ321において被写体に関する画像が形成される。そして、このようにして形成されたデジタル画像信号としての画像S1は、画像メモリ14に一時的に記憶される（ステップSP13）。ステップSP14における終了判定においては、同様の処理（撮像処理）が3回繰り返されたか否かが判定される。上記の撮像処理が3回未満である場合には再びステップSP11に戻って再度の撮像を行い画像S2（またはS3）を撮像し、撮像処理が3回行われたことが確認されると、次のステップSP20に進む。以上のステップSP10の処理によって、連続的に撮影された複数の画像S1, S2, S3が取得される。

【0037】

つぎに、ステップSP20について説明する。ここでは、複数（9つ）の代表位置B1～B9（図15参照）のそれぞれに応じた劣化関数を求め、それらの代表位置B1～B9に関する劣化関数に基づいて各位置における劣化関数を求める場合について説明する。

【0038】

そのため、まず、ステップSP21において、各代表位置B1～B9をそれぞれ含むエリア（領域）A1～A9（図15）を設定する。このエリアA1～A9の設定は、対象画像S2において行う。ここでは、垂直方向において、エリアA1～A3は上側領域、エリアA4～A6は中央領域、エリアA7～A9は下側領域に位置し、また、水平方向において、エリアA1, A4, A7は左側領域、エリアA2, A5, A8は中央領域、エリアA3, A6, A9は右側領域に位置している。また、各代表位置B1～B9は、各エリアA1～A9の中央位置に存在する。

【0039】

そして、ステップSP22において、これらの各エリアA1～A9について複数（3つ）の画像S1, S2, S3の相互間における対応づけを行う。画像S2において設定された各エリアA1～A9が、他の画像S1, S3においてどの位

置に配置されるかを求める。この対応付けにあたっては、マッチングや勾配法などの手法を用いることができる。

【 0 0 4 0 】

さらに、このような対応付けを行った後、ステップ S P 2 3 において、対象画像 S 2 中の被写体像の軌跡 L 1（図 9 参照）を求める。この軌跡 L 1 は、各画像 S 1, S 2, S 3 において対応づけられた各エリア A 1 ~ A 9 内の各代表位置 B 1 ~ B 9 に関し、それぞれ得ることができる。そして、これらの各代表位置 B 1 ~ B 9 のそれぞれに関して、各軌跡 L 1 に基づいて各 2 次元フィルタ（図 1 0 参照）を求める。これらの各 2 次元フィルタが代表位置 B 1 ~ B 9 における劣化関数である。

【 0 0 4 1 】

そして、このような劣化関数を複数の代表位置 B 1 ~ B 9 において求めた後、次のステップ S P 2 4 において、代表位置 B 1 ~ B 9 に関する 9 つの劣化関数に基づいて対象画像 S 2 中の全ての画素位置における劣化関数をそれぞれ求める。この各画素位置における劣化関数は、複数の（9 つ）の代表位置 B 1 ~ B 9 に関して求められた複数の（9 つ）の劣化関数に基づき、画像中の座標位置に関する相対位置関係などを反映させて決定することができる。さらには、光学系焦点距離や被写体距離などの撮影情報などをも反映させて決定してもよい。これらによれば、複数の劣化関数を各画素位置に応じて決定することができるので、より詳細な劣化関数を求めることが可能であり、たとえば、画素位置に応じて非線形に変化する場合においても柔軟に対応することが可能である。具体的には、図 1 6 に示すように、広角レンズを用いた撮影時などにおいて左右方向のぶれが生じている場合には、レンズの収差等に起因して、左右の端部領域におけるぶれ量は中央領域におけるぶれ量と比較して大きな値となる（図 1 6 中の矢印 A R 2 1 ~ A R 2 3 の長さは、それぞれの位置におけるぶれ量の大きさを模式的に表している）。このような場合には、画像中の X 方向（左右方向）の座標位置に応じて劣化関数をそれぞれ別個のものとして求めることにより、さらに高精度の劣化関数表現を求めることが可能であり、これにより高精度の画像復元を達成することが可能になる。このようにレンズなどの光学特性の相違等に基づいて、画像内の座標位置

に応じて劣化関数が異なる場合にも、本発明を適用することが可能である。

【 0 0 4 2 】

以上のようにして、複数の設定エリア A 1 ～ A 9 ごとの各劣化関数を算出し、複数（9つ）の設定エリア A 1 ～ A 9 ごとに算出された複数（9つ）の劣化関数に基づいて全ての各画素位置における劣化関数が算出される。

【 0 0 4 3 】

なお、ここでは各画素位置における劣化関数が異なることを前提にしていたが、上述したように、最も簡単には、単一の代表位置について1つの劣化関数を求めておき、その1つの劣化関数を全ての画素位置における劣化関数と見なすことも可能である。

【 0 0 4 4 】

つぎに、ステップ S P 3 0 について説明する。ステップ S P 3 0 においては、ステップ S P 2 0 において求めた劣化関数を用いて復元処理を行う。

【 0 0 4 5 】

ここでは、劣化関数を用いた対象画像の復元について、3つの具体例を説明する。なお、デジタルカメラ 1 ではいずれの画像復元方法が採用されてもよい。

【 0 0 4 6 】

図 1 2 は第 1 の画像復元方法における処理動作（ステップ S P 3 0 （S P 3 0 A））を示すフローチャートである。第 1 の画像復元方法は劣化関数から復元関数を求め、復元処理の対象となる対象画像に復元関数を作用させて復元を行う方法である。

【 0 0 4 7 】

上述のように、対象画像の所定位置の画素は、理想画像に対して当該位置における劣化関数を作用させて得られるものであると仮定することができるので、これを全画素（一般的には複数の画素）に対して適用し、理想画像の各画素に劣化関数を作用させて得られる画像が対象画像になっていると仮定することができる。以下では、このような複数の画素に対して劣化関数を求めてまとめたもの（すなわち、複数画素の劣化に相当する変換行列）を、これらの複数の画素を含む所定領域の画像に関する「劣化関数」（以下「画像劣化関数」ともいう。）として

説明する。

【0048】

このような画像劣化関数によって理想画像を劣化させた画像が対象画像になっていると仮定した場合、劣化関数（画像劣化関数）とは逆の変換を行う復元関数（画像復元関数）を求め、今度はその復元関数を対象画像に対して作用させることによって、劣化前の画像を復元した推定画像（以下「推定劣化前画像」ともいう）を得ることが可能になる。なお、上記の仮定が正しい場合（言い換えれば、画像劣化関数が正しい場合）には、この「推定劣化前画像」は「理想画像」に一致する。

【0049】

ここにおいて、上記においては、対象画像の境界付近の画素の劣化を表現するにあたってそれに対応する位置よりも外側に位置する理想画像の画素をも用いているため、対象画像の劣化状態を表現する際に用いられる理想画像は、対象画像よりも大きなサイズを有することになる。このことは、画像復元関数によって復元される推定劣化前画像は、対象画像よりも大きなサイズを有することを意味する。したがって、未知変数の数（推定劣化前画像に関する画素数）の方が連立方程式の数よりも大きくなるので、画像劣化関数とは逆の変換を行う画像復元関数を求めようとしても、画像復元関数を適切に求めることができないことになる。

【0050】

そこで、第1の画像復元方法では、まず、処理対象領域の外側に仮想的な画素を設け、仮想的な画素の画素値を適宜決定する（ステップSP311）。例えば、対象画像の境界の内側の画素の画素値をそのまま当該境界の外側（外周位置）における理想画素の画素の画素値として決定する。このことは、推定劣化前画像の当該外周位置における画素の画素値を決定することに対応する。

【0051】

これにより、理想画像の画素値の配列（1次元配列）であるベクトルPは、その要素数を削減して対象画像の画素値の配列（1次元配列）であるベクトルQと同一のサイズとした上で、次の数2の関係を満たすものと想定することができる。

【0052】

【数2】

$$HP = Q$$

【0053】

ただし、行列Hは各画素の劣化関数を全画素についてまとめた画像劣化関数に相当する。なお、ベクトルPとベクトルQとのサイズは同一であるため、行列Hは正方行列となる。

【0054】

その後、画像劣化関数である行列Hの逆行列 H^{-1} を、画像を復元するための復元関数として求め（ステップSP312）、数3により推定劣化前画像の画素値の配列であるベクトルRを求める。

【0055】

【数3】

$$R = H^{-1}Q$$

【0056】

すなわち、修正された対象画像に復元関数を作用させて画像の復元を行う（ステップSP313）。なお、上記の仮定が正しい場合には、このベクトルRは、理想画像の画素値の配列であるベクトルPと同一のものとなる。

【0057】

図13は第2の画像復元方法における処理動作（ステップSP30（SP30B））を示すフローチャートである。劣化関数は、一般に理想画像中の特定の周波数成分を減衰させるという特性を有することから、第2の画像復元方法では対象画像における特定の周波数成分を復元して画像の復元を行う。

【0058】

まず、対象画像を所定の画素数のブロックに分割し（ステップSP321）、各ブロックに2次元フーリエ変換（すなわち、離散コサイン変換（DCT））を

施し、各ブロックを周波数空間へと変換する（ステップSP322）。

【0059】

次に、劣化関数の特性に基づいて減衰された周波数成分の復元が行われる（ステップSP323）。具体的には、フーリエ変換されたブロックをフーリエ変換された劣化関数にて割り算する。その後、ブロックに逆フーリエ変換（逆DCT）を施し（ステップSP324）、復元されたブロックを合成することにより復元画像を得る（ステップSP325）。

【0060】

図14は第3の画像復元方法における処理動作（ステップSP30（SP30C））を示すフローチャートである。第3の画像復元方法は、劣化前の画像を仮定し（以下、仮定された画像を「仮定画像」という。）、反復法を用いて仮定画像を更新することにより劣化前の画像を求める方法である。

【0061】

まず、初期状態の仮定画像として、対象画像が用いられる（ステップSP331）。次に、仮定画像に劣化関数（正確には、画像劣化関数である行列H）を作用させ（ステップSP332）、得られた画像と対象画像との相違が求められ（ステップSP333）、相違に基づいて仮定画像の更新が行われる（ステップSP335）。

【0062】

具体的には、対象画像の画素値の配列であるベクトルQと仮定画像の画素値の配列であるベクトルPとに基づいて、Vを重み行列（単位行列であってもよい）として、数4が最小となるベクトルPを修正された仮定画像として求める。

【0063】

【数4】

$$[Q-HP]^T V [Q-HP]$$

【0064】

その後、対象画像と劣化された仮定画像との相違が許容範囲内となるまで仮定

画像の更新が繰り返され（ステップ S P 3 3 4）、最終的に得られる仮定画像が復元後の画像となる。

【 0 0 6 5 】

すなわち、対象画像の画素値の配列であるベクトル Q と仮定画像を劣化させた画像の画素値の配列であるベクトル H P との相違を各画素の画素値の差の 2 乗和（または、荷重 2 乗和）として求めつつ連立一次方程式 $Q = H P$ を反復法で解くことにより、相違が最小となるベクトル P を求める。なお、第 3 の画像復元方法の詳細について言及された文献としては、例えば、"RESTORATION OF A SINGLE SUPER-RESOLUTION IMAGE FROM SEVERAL BLURRED, NOISY AND UNDER-SAMPLED MEASURED IMAGES" (M.Elad and A.Feuer, IEEE Trans., On Image Processing, Vol.6 No.12 pp1646-1658 Dec/1997) が挙げられる。また、反復法の細部については様々な他の手法を利用することももちろん可能である。

【 0 0 6 6 】

以上のようにして、対象画像に関し、画像の劣化を除去した復元画像を得ることができる。なお、ここでは、デジタルカメラ 1 にて採用される画像復元方法として、第 1 ないし第 3 の画像復元方法について説明したが、このうちのいずれが採用されてもよく、またその他の方法が用いられてもよい。

【 0 0 6 7 】

そして、次のステップ S P 4 0 において、ステップ S P 3 0 において得られた復元画像を半導体メモリを利用したメモリカードなどの記録媒体に記録する。なお、記録媒体はメモリカードの他、磁気ディスクや光磁気ディスクを利用したものであってもよい。

【 0 0 6 8 】

<変形例その他>

上記実施形態においては、複数の画像 S 1, S 2, S 3 は、いずれも同一微小時間 Δt にわたる露出時間により取得されていたが、これに限定されない。たとえば、対象画像 S 2 に比べてその前後の画像 S 1, S 3 については、露出時間を短くしてもよい。これによれば、画像 S 1, S 3 についてはぶれを低減して、その位置精度を高めることができるので、上記ステップ S P 2 0 における被写体像

の軌跡 L_1 をより正確に求めることが可能になる。すなわち、対象画像 S_2 については十分な露出時間を確保しつつ、その前後に取得される画像 S_1 、 S_3 の露出時間を短くすることにより、対象画像についてさらに正確な復元処理が可能になる。

【0069】

また、上記実施形態においては、複数の画像 S_1 、 S_2 、 S_3 は、いずれも同一の画素数を有するものであったが、これに限定されず、たとえば、対象画像 S_2 に比べてその前後の画像 S_1 、 S_3 については、画素数を少なく（すなわち画像を粗く）してもよい。この場合でも、所定程度の位置精度を確保して被写体像の軌跡 L_1 を求めることが可能である。

【0070】

以上のように、復元の対象となる対象画像 S_2 とそれ以外の画像 S_1 、 S_3 について、撮像条件（露出時間、画素粗さなど）が異なってもよい。たとえば、画像 S_1 、 S_3 としてはライブビュー用の画像を用いることができる。ここで、ライブビュー用の画像とは、デジタルカメラ背面のモニタ表示にリアルタイムで表示される画像を意味する。

【0071】

また、上記実施形態においては、二次元フィルタのサイズは、 5×5 のサイズのものをしていたが、これに限定されず、その他のサイズ（ 3×3 、 7×7 など）のものをを用いてもよい。また、2次元フィルタのサイズは、全ての画素位置に関して同一のものでなくともよく、各画素位置における軌跡を表現するのに適したサイズのものをを用いてもよい。

【0072】

さらに、上記実施形態においては、連続的に取得した撮像した3枚の画像を用いて劣化関数を求めていたが、これに限定されない。たとえば、連続的に取得した2枚の画像を用いて、2点間の補間とその後の移動軌跡の推定により上記の軌跡 L_1 を求めてもよい。さらには、連続的に撮像した N （ ≥ 4 ）枚の画像を用いてもよい。この場合には、最初および最後の各1枚（合計2枚）の画像を除いた（ $N - 2$ ）枚の画像のそれぞれを対象画像として、上記の各処理（劣化関数算出

処理および復元処理)を行えばよい。また、その際、被写体像の軌跡を求めるにあたって、 N (≥ 4) 個の点を結ぶような軌跡をスプライン補間などにより求めれば、さらに正確な軌跡を得ることが可能である。さらに、得られた ($N-2$) 枚の復元画像を用いて平均化処理などを行えば、ノイズの影響をさらに軽減することも可能になる。この場合には、撮像時のぶれ等に起因する各画像間の移動量を考慮して画像相互間の対応付けを行った上で、各画素の平均化処理などを行うことが好ましい。

【0073】

また、上記実施形態においては、対象画像 S_2 の前後において補正用の画像 S_1 , S_3 を別途撮像する場合について説明したが、この画像 S_1 , S_3 としては、ライブビュー用の画像を用いてもよい。

【0074】

さらには、上記実施形態においては、デジタル撮像装置として静止画像を撮影する装置について説明したが、これに限定されず、動画像を撮影する装置であってもよい。すなわち、動画像を撮影するデジタル撮像装置に対しても、上述の動作を適用して、動画像から静止画像を得る場合に、特別なぶれセンサを必要とすることなく、撮像時のぶれなどによる対象画像を高精度に復元することが可能である。たとえば、連続的に撮影される複数のフレーム画像で構成される動画像に対して、これらの複数のフレーム画像内に含まれる少なくとも1枚の画像を対象画像としてその劣化を復元することができる。これによれば、動画像の撮影時のぶれに起因する画像の劣化が生じる場合にも上記と同様の処理を行うことにより同様の効果を得ることができる。

【0075】

また、動画像から静止画像を得る場合において、デジタル撮像装置のぶれに起因するのではなく被写体自体の動きに起因して、上記と同様に対象画像中における被写体像の軌跡に基づき画像の劣化が生じる場合においても、上記の復元処理などを適用することができる。たとえば、動画像の一部のみに被写体自身の「動き」が存在する場合においても、その動画像中の「動き」が存在する部分に上記の動作を適用することにより、好適な静止画像を得ることが可能である。

【0076】

さらに、上記実施形態においては、複数の画像の撮像と画像の復元処理とを一連の動作として行い、得られた復元画像を記録媒体に格納する場合について説明したが、これに限定されない。たとえば、複数の撮像画像（復元処理前画像）と所定位置における劣化関数とを記録媒体などに格納しておき、一連の撮影動作が終了した後に、別途、対象画像の復元処理を行ってもよい。あるいは、複数の撮像画像（復元処理前画像）のみを記録媒体などに格納しておき、劣化関数算出処理および復元処理をその後に、別途行ってもよい。これらによれば、劣化関数算出処理および／または復元処理に多大な時間を要する場合であっても、画像の格納完了までの時間を短縮することができる。したがって、撮像時のデジタルカメラ1のCPUに対する処理負担を軽減して、より高速な連写動作などが可能になる。

【0077】

ここにおいて、上記の各処理（劣化関数算出処理および復元処理）は、必ずしもデジタルカメラ1などのデジタル撮像装置において行うことを要せず、これらのデジタル撮像装置において連続的に撮像された複数の画像に基づいて、コンピュータシステムを用いて同様の処理を行ってもよい。

【0078】

図17は、そのようなコンピュータシステム（以下、単に「コンピュータ」とも称する）のハードウェア構成を示す概念図である。コンピュータ90は、CPU92、半導体メモリおよびハードディスクなどを含む記憶部93、各種の記録媒体から情報を読み出すメディアドライブ94、モニタなどを含む表示部95、キーボードおよびマウスなどを含む入力部96を備える。

【0079】

CPU92は、バスラインBLおよび入出力インターフェースIFを介して、記憶部93、メディアドライブ94、表示部95、入力部96などに接続されている。また、メディアドライブ94は、メモリカード、CD-ROM、DVD（Digital Versatile Disk）、フレキシブルディスクなどの可搬性の記録媒体99からその中に記録されている情報を読み出す。

【0080】

このコンピュータ90は、プログラムを記録した記録媒体99Aからそのプログラムを読み込むことによって、上述した劣化関数算出機能や復元動作機能などの各種機能を持つようになる。また、デジタルカメラ1などのデジタル撮像装置において連続的に取得された複数の画像は、メモリカードその他の記録媒体99Bを介して、このコンピュータ90に読み込まれる。

【0081】

そして、このようなコンピュータ90において、上述のような劣化関数算出動作や劣化した対象画像の復元動作などを行うことによって、上記と同様の機能を達成することが可能である。

【0082】

【発明の効果】

以上のように、請求項1に記載のデジタル撮像装置および請求項2に記載の画像復元方法によれば、連続的に取得された複数の画像に含まれる対象画像について、対象画像中の被写体像の軌跡を複数の画像から求めることにより、対象画像の劣化特性を示す少なくとも1つの劣化関数を求め、求めた少なくとも1つの劣化関数を用いて対象画像を復元する。したがって、特別なぶれセンサを必要とすることなく、撮像時のぶれによって劣化した画像を高精度に復元することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

デジタルカメラ1の正面図である。

【図2】

デジタルカメラ1の背面図である。

【図3】

デジタルカメラ1の側面図である。

【図4】

デジタルカメラ1のレンズユニット31に関する内部構造を示す概略断面図である。

【図 5】

デジタルカメラ 1 の制御機能に関するハードウェア構成を示す概念図である。

【図 6】

デジタルカメラ 1 の機能的構成を示すブロック図である。

【図 7】

被写体に関し連続的に取得された画像 S 1, S 2, S 3 を示す概念図である。

【図 8】

「ぶれ」によって各画像 S 1, S 2, S 3 において被写体像が軌跡 L 1 を描く様子を示す概念図である。

【図 9】

各画像 S 1, S 2, S 3 における被写体像の代表点 P 1, P 2, P 3 およびその近傍の拡大図である。

【図 1 0】

2 次元フィルタ（劣化関数）の一例を示す図である。

【図 1 1】

デジタルカメラ 1 における処理動作を示すフローチャートである。

【図 1 2】

第 1 の画像復元方法における処理動作を示すフローチャートである。

【図 1 3】

第 2 の画像復元方法における処理動作を示すフローチャートである。

【図 1 4】

第 3 の画像復元方法における処理動作を示すフローチャートである。

【図 1 5】

代表位置 B 1 ～ B 9 およびエリア A 1 ～ A 9 を示す図である。

【図 1 6】

端部領域と中央領域とにおけるぶれ量の相違を示す模式図である。

【図 1 7】

コンピュータ 9 0 を示す概念図である。

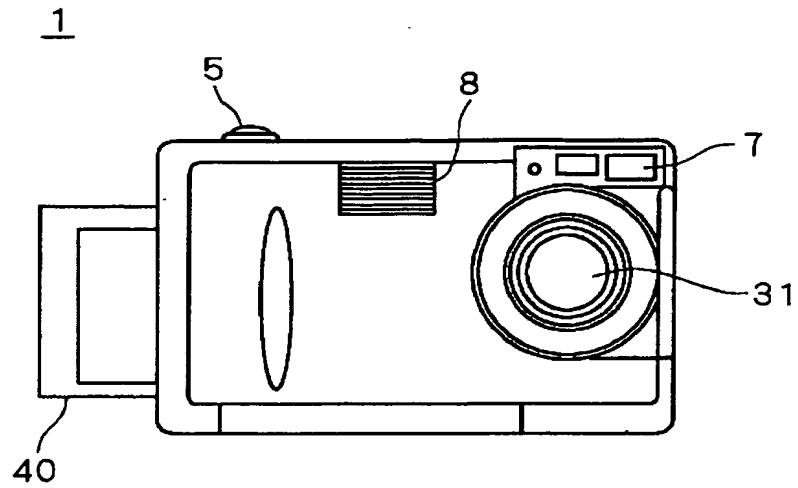
【符号の説明】

- 1 デジタルカメラ
 - 31 レンズユニット
 - 32 撮像部
 - 321 撮像センサ
 - 40 メモリカード
 - 41 カードスロット
 - 7 ファインダ
 - 90 コンピュータ
- I 被写体像
- J 被写体
- L1 軌跡
- S1～S3 画像
- S2 対象画像
- Δt 露光時間

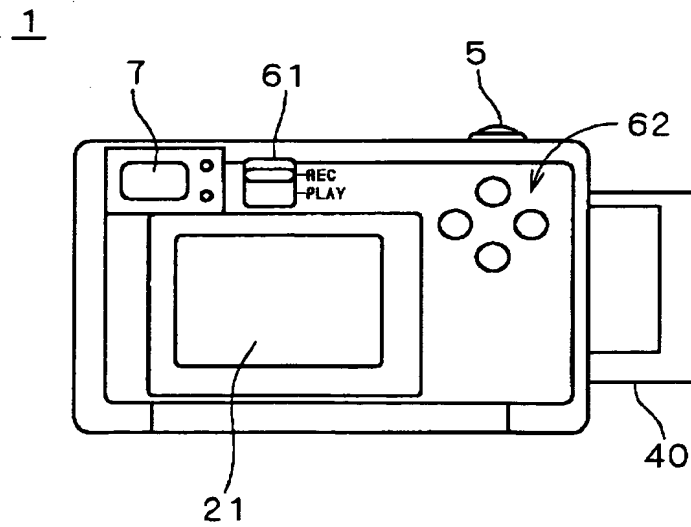
【書類名】

図面

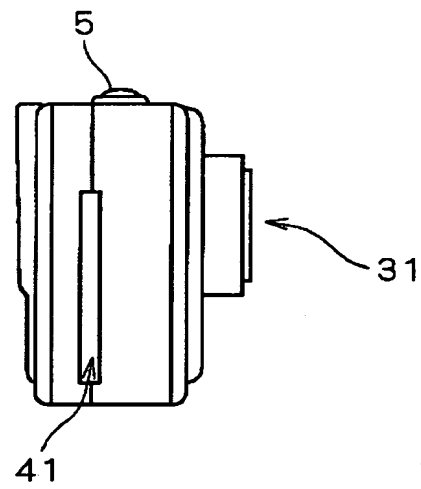
【図 1】



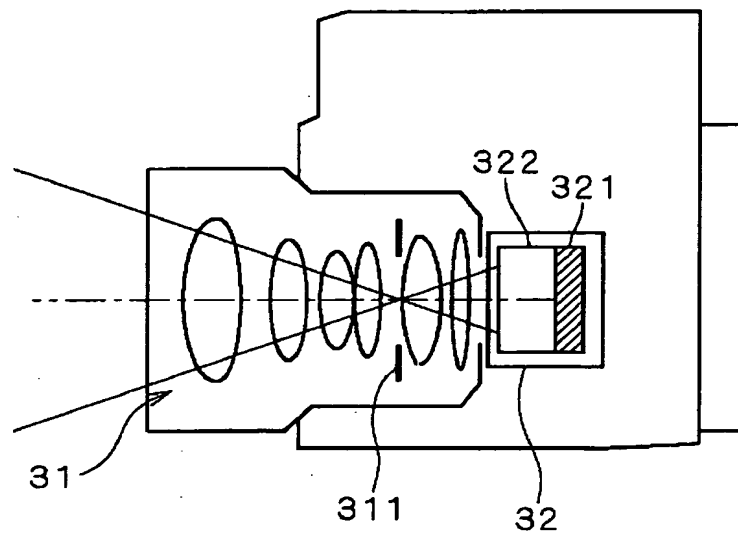
【図 2】



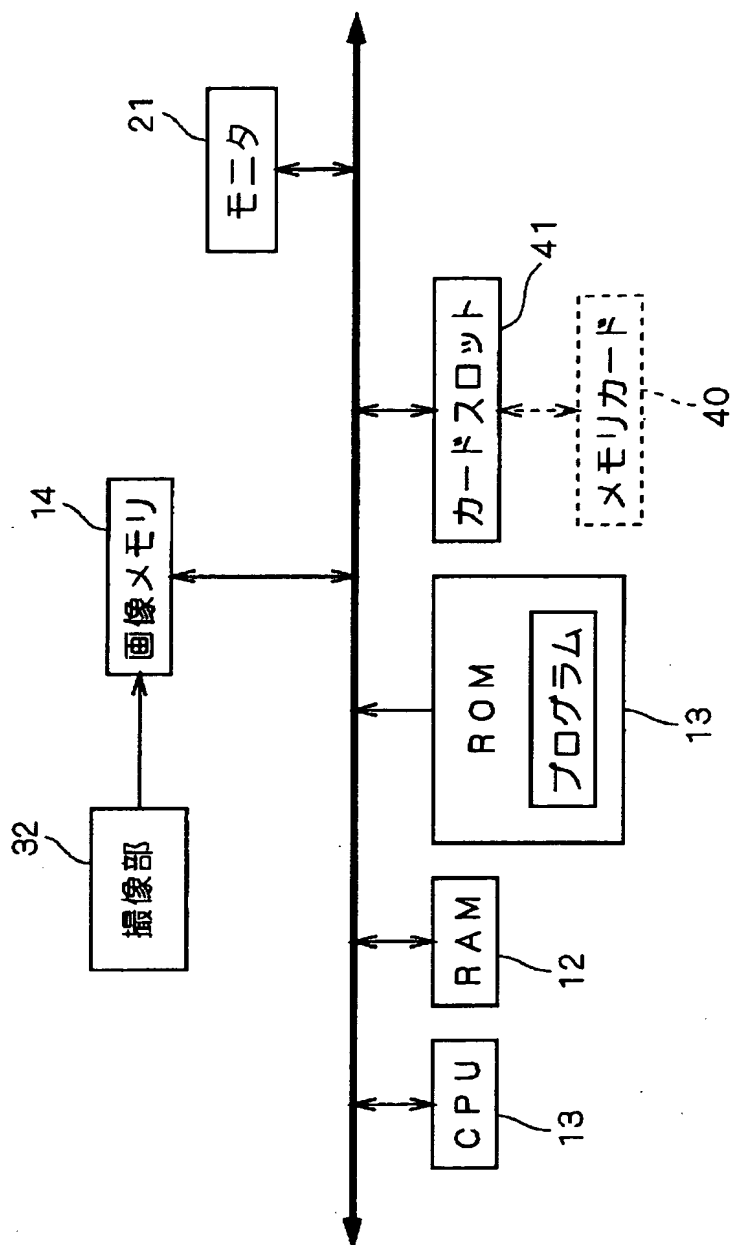
・【図 3】



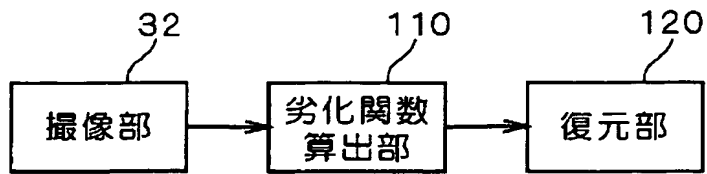
【図 4】



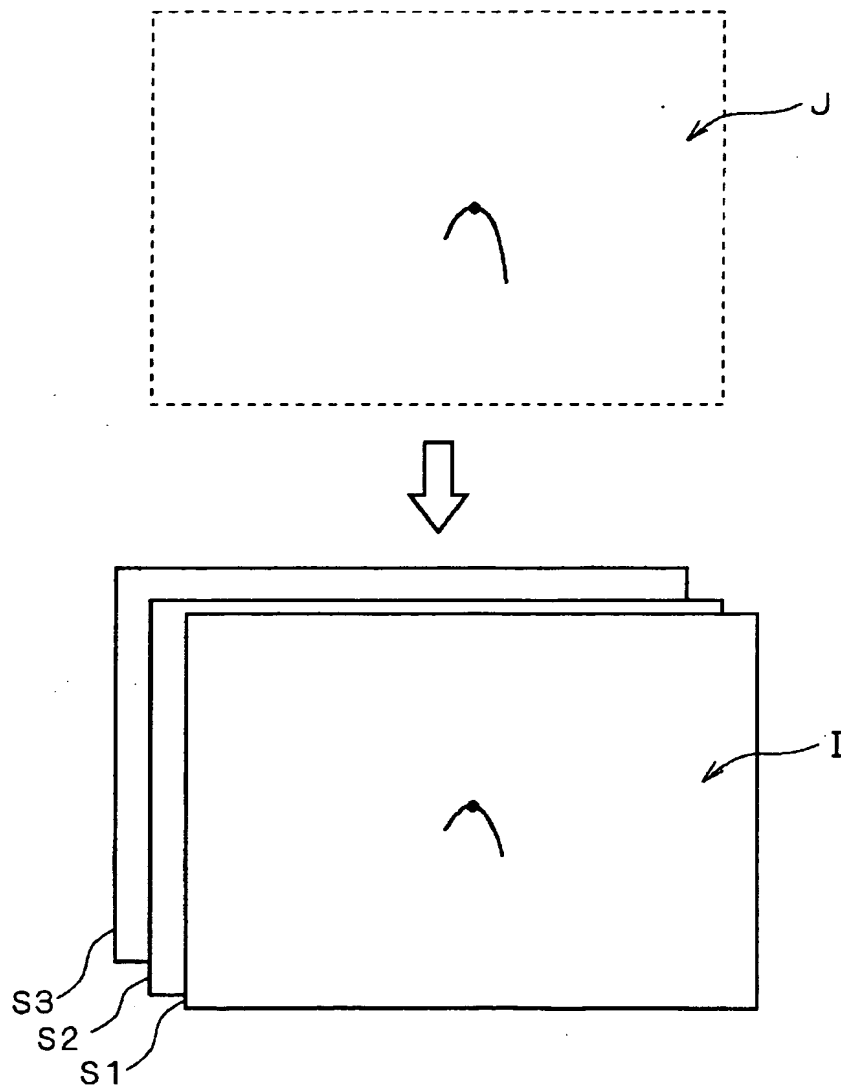
【図5】



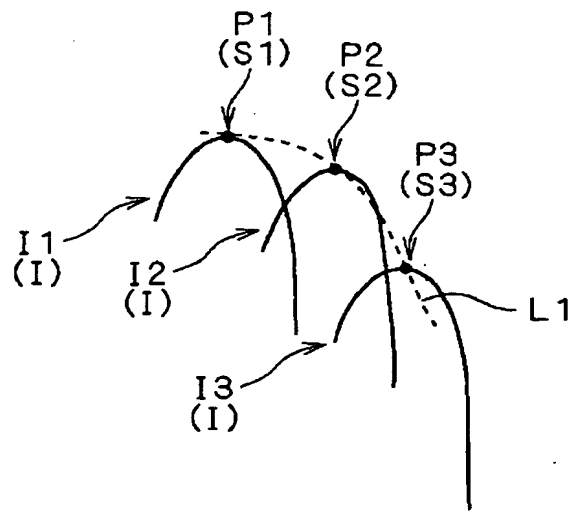
【図 6】



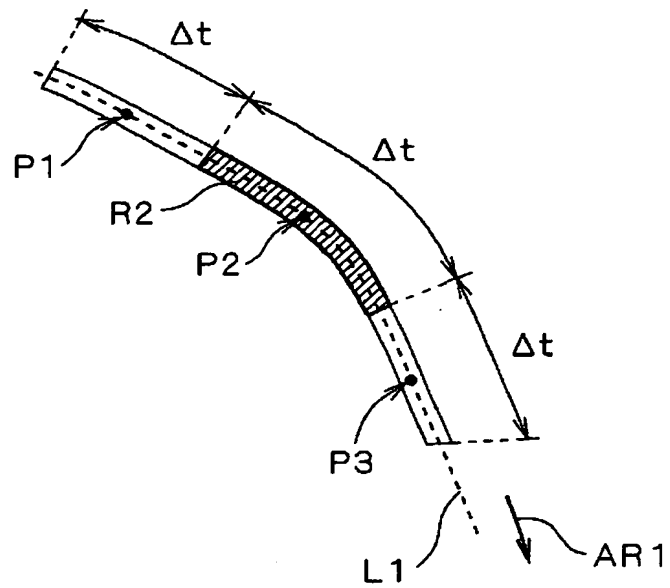
【図 7】



【図 8】



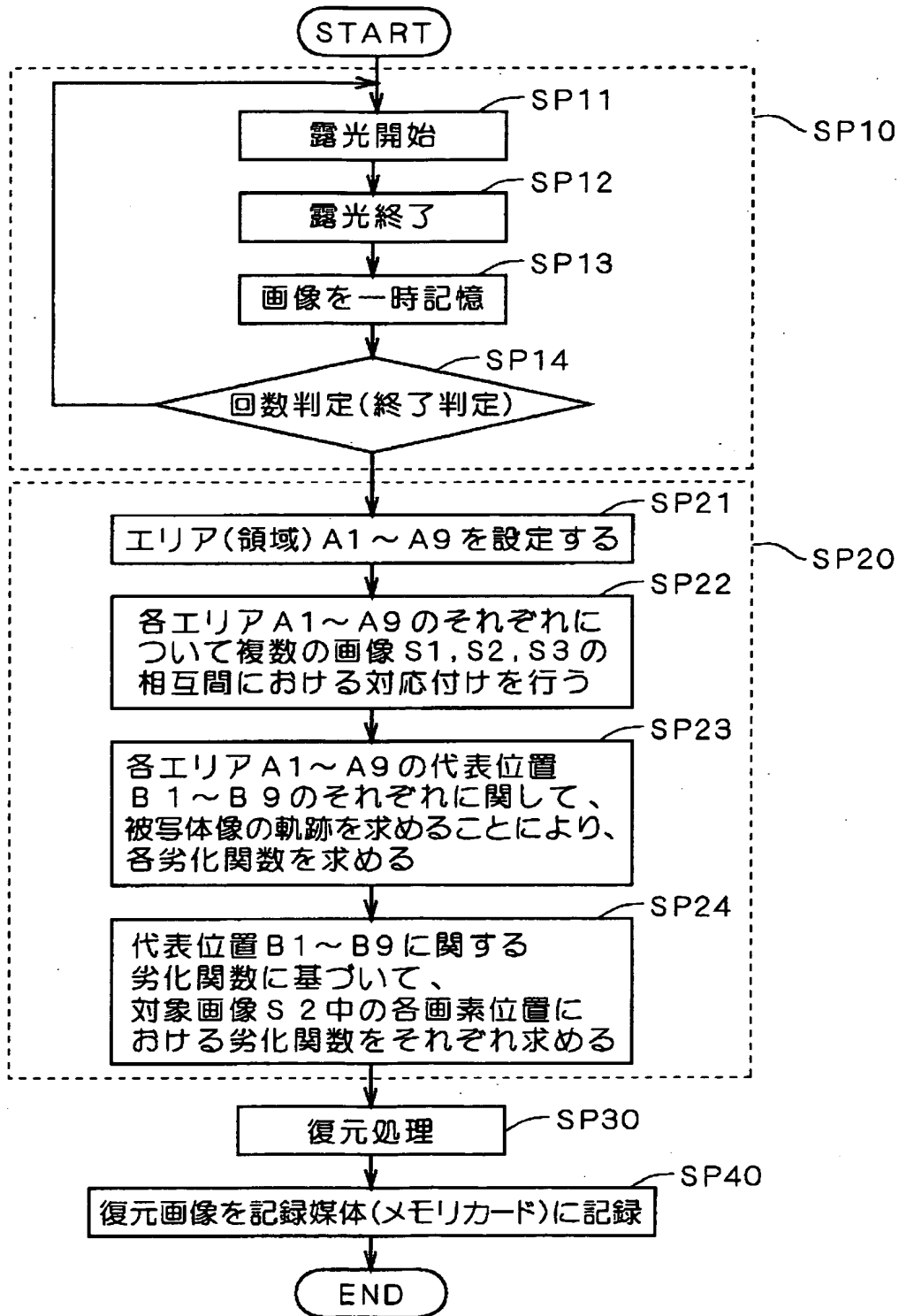
【図 9】



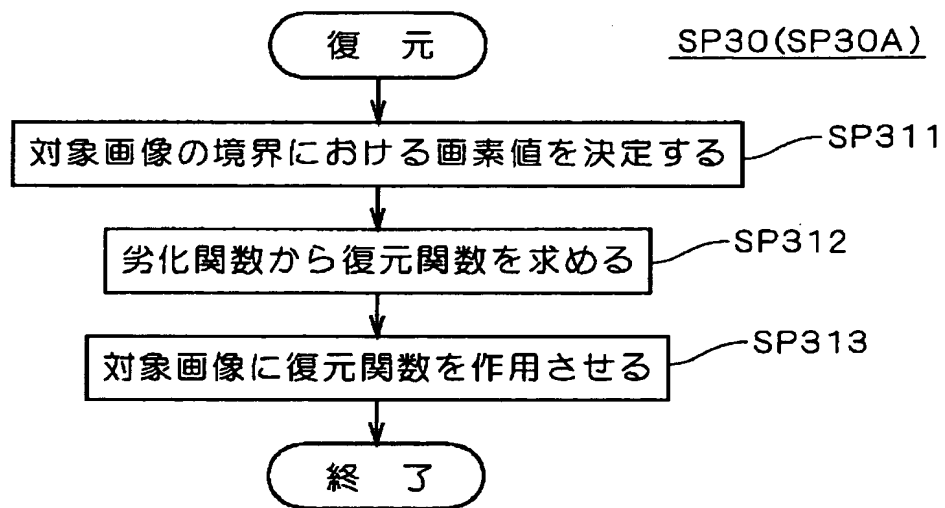
【図 1 0】

0	0	0	0	0
$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	0	0	0
0	0	$\frac{1}{5}$	0	0
0	0	0	$\frac{1}{5}$	0
0	0	0	0	$\frac{1}{5}$

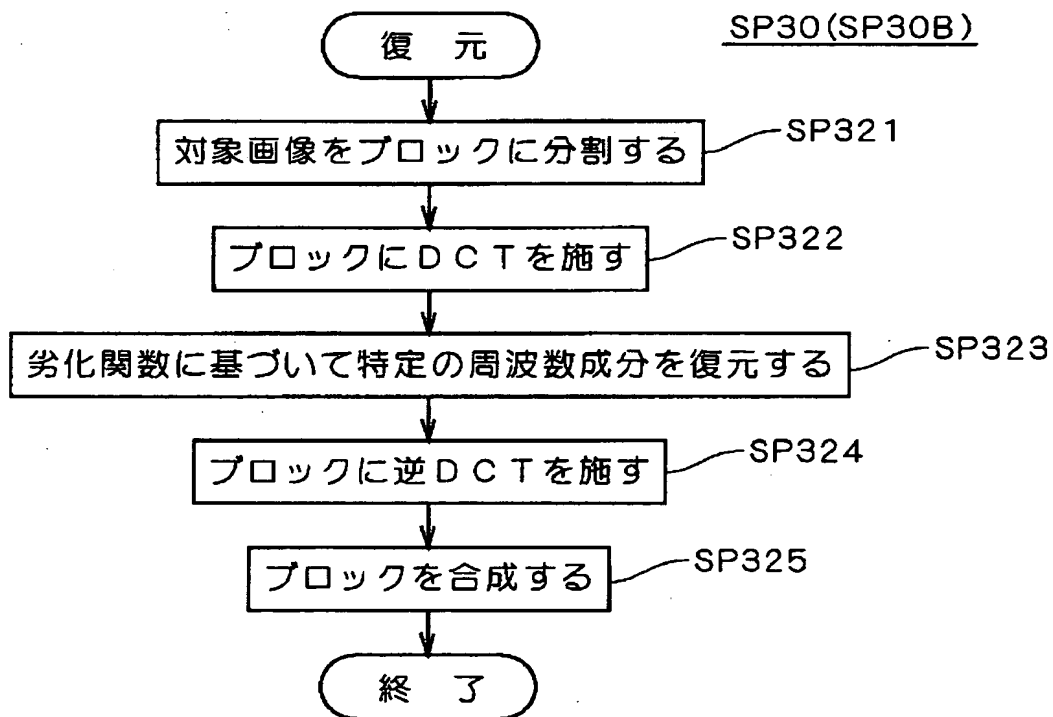
【図 1-1】



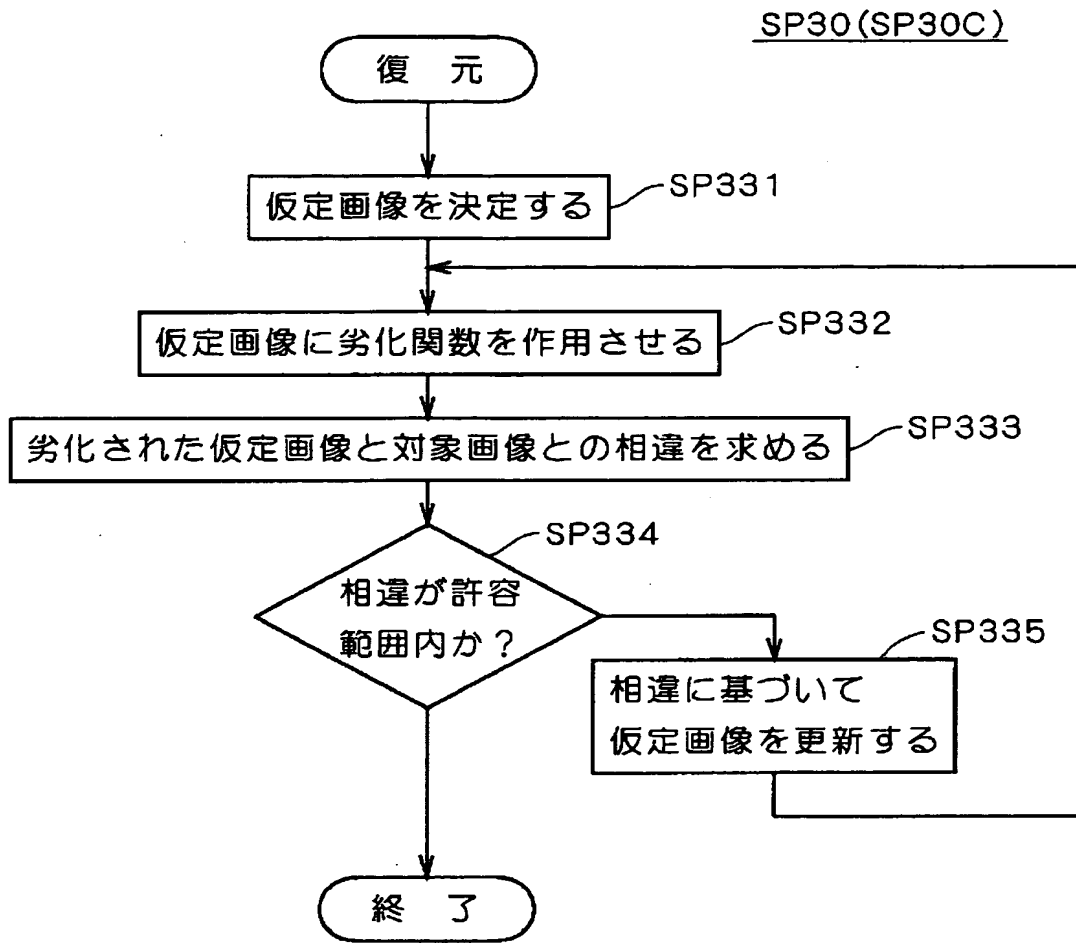
【図 1 2】



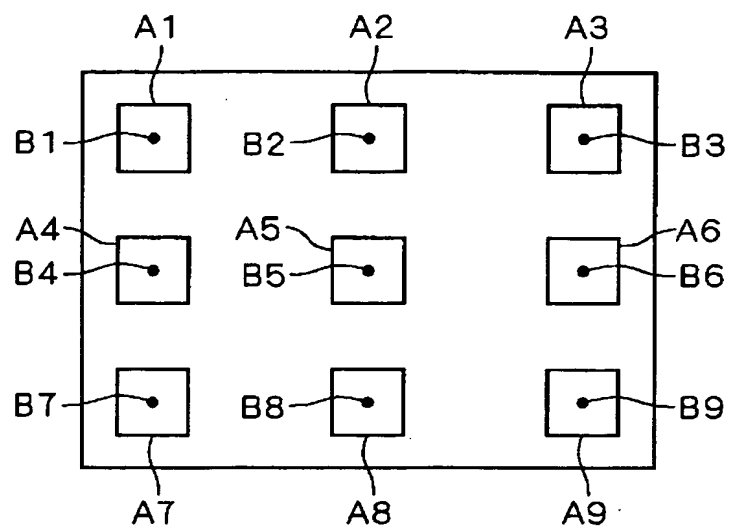
【図 1 3】



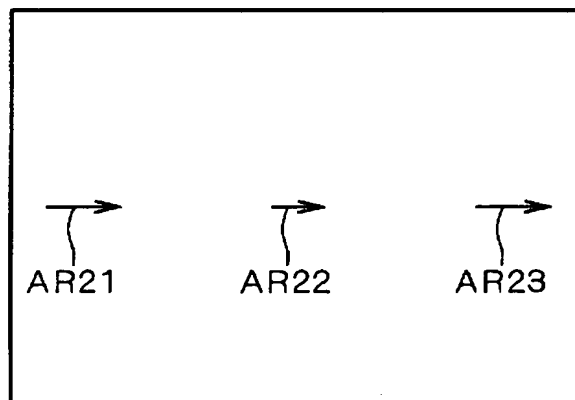
【図 14】



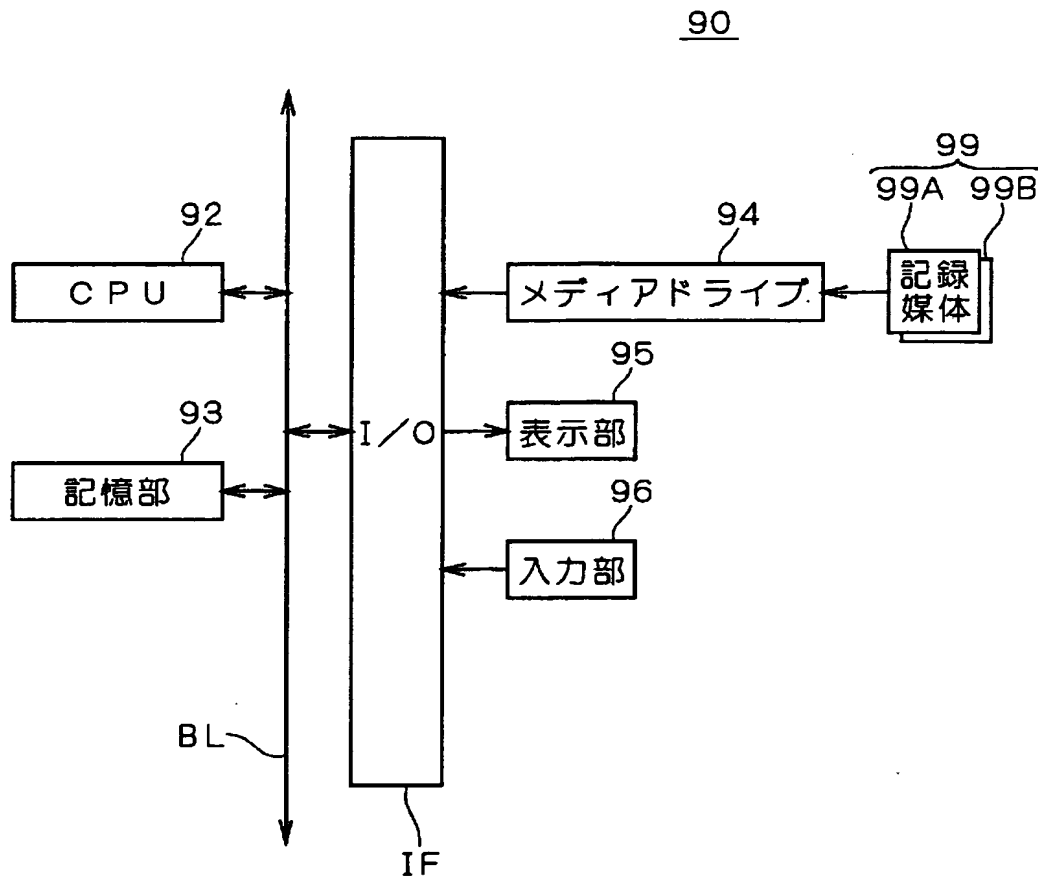
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 特別なぶれセンサを必要とすることなく、撮像時のぶれなどによって劣化した画像を高精度に復元することが可能な画像処理技術を提供する。

【解決手段】 デジタルカメラは、複数の画像を連続的に取得し（ステップ S P 1 0）、取得された複数の画像に含まれる対象画像について、ぶれなどによる対象画像中の被写体像の軌跡を複数の画像から求めることにより対象画像の劣化特性を示す少なくとも 1 つの劣化関数を求め（ステップ S P 2 0）、得られた劣化関数を用いて対象画像を復元する（ステップ S P 3 0）。

【選択図】 図 1 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006079]

1. 変更年月日	1994年 7月20日
[変更理由]	名称変更
住 所	大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル
氏 名	ミノルタ株式会社